

УДК 621.745.55

Г.Є. Федоров, М.М. Ямшинський,  
Є.О. Платонов, А.Ю. Кузьменко,  
К.С. Радченко

## ПІДВИЩЕННЯ ГІДРОАБРАЗИВНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВИСОКОЛЕГОВАНОГО БІЛОГО ЧАВУНУ

### Вступ

Для виготовлення литих деталей, що працюють в умовах абразивного зносу, використовуються високолеговані білі чавуни, які за кількістю литва, що з них виготовляється, посідають одне з перших місць серед чавунів із спеціальними властивостями [1–3]. Дані сплави широко застосовуються для виготовлення деталей машин і механізмів, що працюють у таких галузях промисловості, як теплоенергетика, гірничодобувна, гірничоперероблювальна, хімічна, сільськогосподарська [4, 5].

Більшість сплавів, які використовуються в теплоенергетиці як матеріали для виробництва деталей при абразивному та гідроабразивному зношуванні мають у своєму складі значну кількість таких дорогих і дефіцитних елементів, як нікель, молибден, мідь тощо. І хоч у вітчизняній та зарубіжній практиці накопичено значний досвід по використанню як зносостійких матеріалів [6, 7], що працюють у гідроабразивному середовищі, економно легованих високохромистих і хромомарганцевих чавунів, залишається багато невирішених проблем щодо цих сплавів: відносно невисокі зносостійкість і механічні властивості, здатність утворювати тріщини у виливках під час їх тверднення і термічної обробки. Тому додаткові дослідження процесів легування, мікролегування, модифікування або технологічних процесів виготовлення виливків, термічної обробки з метою їх корегування для підвищення експлуатаційних характеристик сплавів [7–9] є досить актуальним завданням.

У вітчизняній промисловості як матеріал для виготовлення литих деталей багерних насосів, що працюють в умовах гідроабразивного зносу, застосовується високолегований білий чавун 280X28H2, який містить у своєму складі дорогий нікель і погано обробляється на металорізальних верстатах.

Актуальність нашого дослідження полягає ще й в тому, що гідроабразивний знос литих деталей агрегатів систем гідрозоловидалення теплових електростанцій наносить значну шкоду господарству, а витрати на заміну таких деталей обчислюються сотнями тисяч гривень за рік. Аналіз показників витрат металу на одиницю виробленої електроенергії ТЕС України свідчить про те, що кожного року безповоротно витрачаються тисячі тонн металевих матеріалів литих деталей високої вартості, а останнім часом спостерігається ще й тенденція до підвищення цих витрат внаслідок погіршення якості палива, тобто вугілля, в якому міститься до 50 % негорючих, але досить абразивних речовин. Тому з'ясування причин, які спричиняють знос металу в гідроабразивному середовищі, підвищення довговічності роботи машин і механізмів є досить актуальними.

### Постановка задачі

У даній статті поставлена задача: дослідити вплив хрому і марганцю на твердість та зносостійкість білих чавунів і визначити їх співвідношення у сплаві, що забезпечує найкращі експлуатаційні характеристики в конкретних умовах та задовільні ливарні властивості; встановити зміну твердості і зносостійкості запропонованого хромомарганцевого чавуну залежно від вмісту в ньому нікелю; вивчити вплив процесів мікролегування титаном, ванадієм, сурмою та модифікування бором на властивості досліджуваного хромомарганцевого чавуну з метою покращання його властивостей.

### Експериментальні дані

Відносна зносостійкість досліджуваних сплавів визначалась методом обертання зразків у гідроабразивному середовищі. Як абразив використовувалась суміш кар'єрного кварцового піску і води у відповідних пропорціях. Розміри зразків і установку для досліджень наведено на рис. 1. Як еталон використовувались зразки з чавуну 280X28H2.

**Вплив хрому і марганцю на твердість та зносостійкість білих чавунів.** Вплив хрому на твердість і зносостійкість марганцевого чавуну (4,0–5,0 % Mn) вивчався в діапазоні його концентрацій від 4,5 до 31,6 %. Результати досліджень наведено на рис. 2, а. (Зносостійкість еталону прийнято за одиницю.)

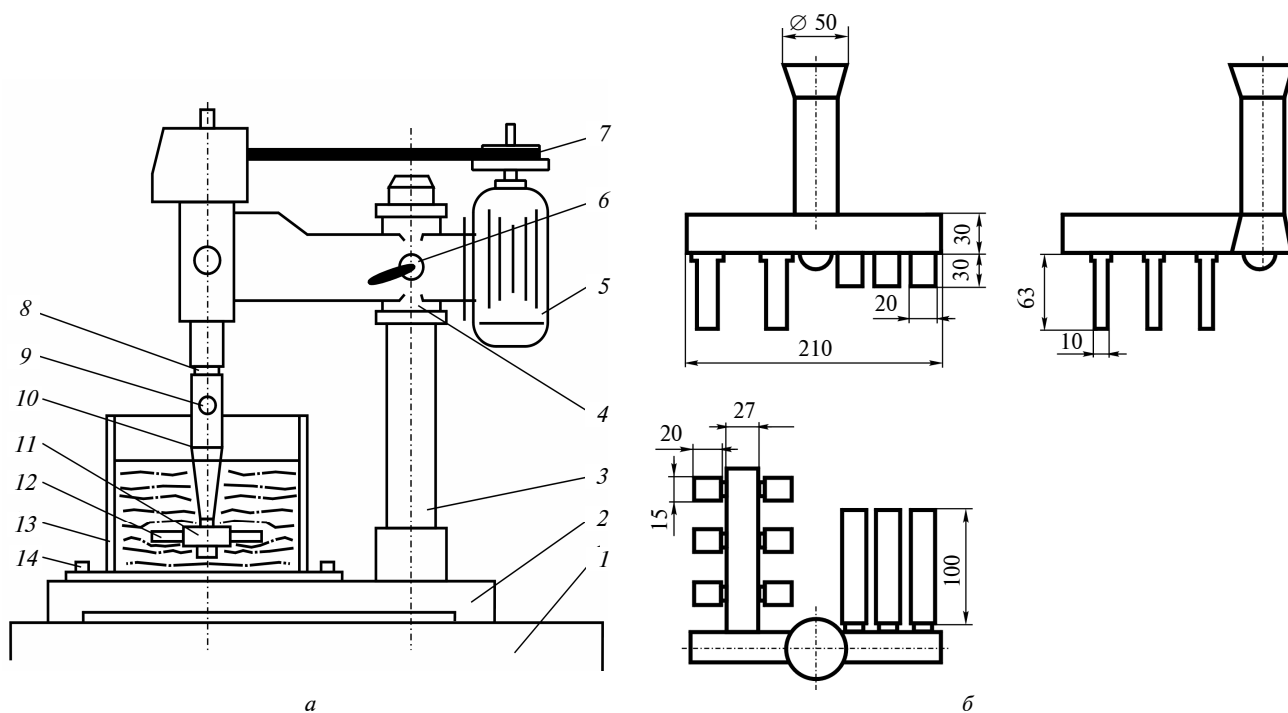


Рис. 1. Установка для випробовування зносостійкості сплавів у гідроабразивному середовищі (а) і розміри (мм) зразків (б): 1 – верстак; 2 – основа; 3 – стояк; 4 – траверса; 5 – електродвигун; 6 – ручка фіксації траверси; 7 – клиноремінна передача; 8 – шпindel; 9 – вузол кріплення робочого вала; 10 – робочий вал; 11 – касета; 12 – зразок; 13 – посудина з кришкою; 14 – шпильки кріплення посудини

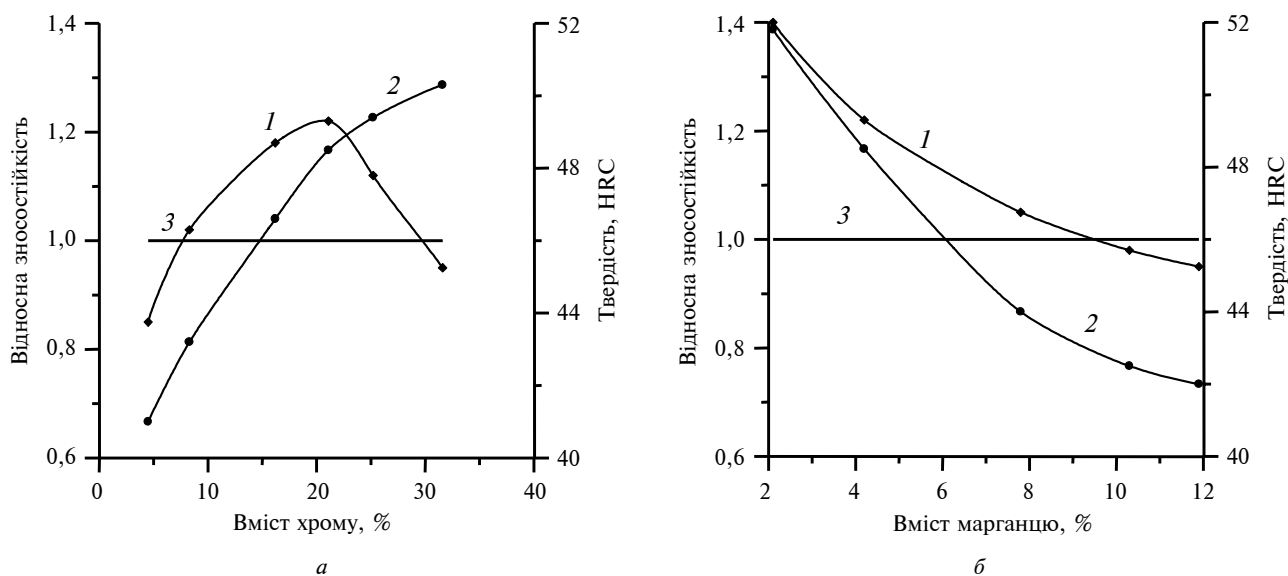


Рис. 2. Вплив хрому (а) і марганцю (б) на твердість та зносостійкість високолегованого чавуну: 1 – відносна зносостійкість; 2 – твердість, HRC; 3 – еталон 280X28H2

Встановлено, що збільшення концентрації хрому до 21,1 % істотно покращує експлуатаційні властивості марганцевого чавуну, оскільки при цьому помітно зростає кількість карбідів, які сприяють підвищенню твердості спла-

ву. Однак подальше підвищення концентрації хрому в чавуні збільшує кількість феритної складової в структурі та помітно знижує зносостійкість сплаву, незважаючи на деяке підвищення твердості через збільшення кількості

карбідів. Зниження зносостійкості можна пояснити слабким утримуванням карбідів хрому швидкозношуваним феритом.

Таким чином, для виплавлення білих марганцевих чавунів із максимальною зносостійкістю (вищою від зносостійкості чавуну 280X28H2 на 15–20 %) необхідно додавати до їх складу від 18 до 21 % хрому.

Нами досліджено вплив марганцю на властивості високохромистого чавуну (вміст хрому 18–20 %) у діапазоні концентрацій від 2,1 до 11,9 %. Результати випробувань наведено на рис. 2, б.

Марганець сприяє стабілізації аустеніту в білому чавуні, тому з підвищенням його вмісту твердість сплаву знижується, а зносостійкість при цьому зменшується, і при вмісті марганцю близько 9 % вона стає меншою, ніж зносостійкість сплаву 280X28H2.

Отже, для досягнення високої зносостійкості високохромисті чавуни повинні вміщувати у своєму складі від 3,5 до 4,5 % марганцю.

На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- під час розробки зносостійких хромомарганцевих чавунів для виготовлення конкретних виливків необхідно вибирати оптимальне співвідношення в них хрому і марганцю;
- при збільшенні вмісту хрому в чавуні кількість марганцю у сплаві має зменшуватись, щоб збереглися його механічні властивості.

За результатами досліджень запропоновано базовий хромомарганцевий чавун із вмістом 18–20 % хрому і 3,8–4,5 % марганцю, якому присвоєно марку 290X19Г4.

**Вплив нікелю на властивості зносостійкого хромомарганцевого чавуну 290X19Г4.** У виробничих умовах часто використовуються як шихтовий матеріал зношені литі деталі багерних насосів, які в своєму складі містять певну кількість нікелю. Отже, і практичний, і теоретичний інтерес становить вивчення впливу різного вмісту нікелю на твердість і зносостійкість запропонованого хромомарганцевого чавуну.

Вплив нікелю на властивості сплаву досліджувався в діапазоні концентрацій від 0 до 2,9 %. Результати досліджень наведено на рис. 3.

Встановлено, що найвища зносостійкість хромомарганцевого чавуну буває без додавання нікелю, хоч твердість його при цьому нижча від легованого нікелем. Це пояснюється тим, що хромомарганцеві чавуни мають переважно мартенситну структуру. Однак у такої структури практично мінімальні пластичні властивос-

ті, і вона швидко руйнується під впливом навіть незначних динамічних навантажень. Тому основа зносостійкого чавуну повинна містити в собі феритну, перлітну або аустенітну складову. Додатки нікелю сприяють утворенню аустеніту, внаслідок чого зміна його вмісту в хромомарганцевому чавуні в дослідженому діапазоні концентрацій зменшує зносостійкість сплаву. Це проявляється особливо при збільшенні нікелю до 1,0 %. Подальше збільшення вмісту нікелю в хромомарганцевому чавуні практично не змінює його зносостійкості.

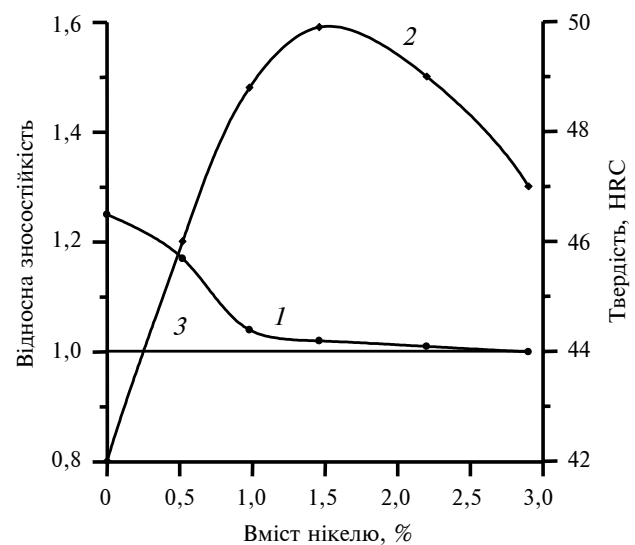


Рис. 3. Зміна властивостей хромомарганцевого чавуну від вмісту в ньому нікелю: 1 — відносна зносостійкість; 2 — твердість, HRC; 3 — еталон 280X28H2

Таким чином, з погляду на зносостійкість, нікель не може бути використаний як елемент, здатний покращувати цю експлуатаційну характеристику. Його доцільно вводити тільки разом із марганцем і титаном для підвищення пластичних властивостей зносостійких сплавів, які працюють при ударних навантаженнях. Кількість нікелю слід визначати для кожної конкретної литої деталі, виходячи з умов її експлуатації.

Для виготовлення литих деталей багерних насосів вміст нікелю в сплаві може бути на рівні 0,3–1,0 %.

**Вплив мікролегування і модифікування хромомарганцевого чавуну 290X19Г4 на його властивості.** Для мікролегування вибрано титан, ванадій і сурму, а для модифікування — бор. Вплив титану на характеристики хромомарганцевого сплаву досліджувався в діапазоні концентрацій від 0 до 1,2 %. Враховуючи високу

спорідненість титану з киснем, його вводили у сплав після повного розкиснення рідкого металу алюмінієм. Титан має більшу спорідненість з вуглецем, ніж залізо. Тому під час кристалізації залізвуглецевих сплавів, що містять у собі титан, він виокремлюється насамперед у вигляді карбідів або карбонітридів, якщо у сплаві є азот. Титан має особливість переохолоджувати рідкий чавун, що сприяє розчину карбідів титану в розплаві та виділенню карбіду під час кристалізації, а не перед нею. Підвищення концентрації титану до 0,5 % сприяє збільшенню твердості сплаву і зносостійкості чавуну, що пояснюється наведеними вище особливостями цього елемента. Подальше збільшення титану в зносостійкому чавуні зменшує твердість і зносостійкість, хоч остання з них залишається вищою, ніж зносостійкість сплаву 290X19Г4. Отже, для покращання експлуатаційних характеристик хромомарганцевого чавуну його доцільно мікролегувати титаном у межах 0,1–0,5 %.

Вплив ванадію на властивості зносостійкого хромомарганцевого чавуну вивчався в діапазоні концентрацій від 0 до 1,1 %. Добавки до 0,3 % ванадію внаслідок його мікролегувальної і розкиснювальної дії знижують зносостійкість та твердість сплаву. Збільшення вмісту ванадію в чавуні до 1 % підвищує зносостійкість, твердість і мікротвердість сплаву, оскільки збільшується кількість карбідів ванадію. Подальше ж збільшення вмісту ванадію недоцільне, оскільки утворюються крупні карбіди округлої форми, які швидко викришуються з матриці під дією абразиву. Таким чином, для підвищення зносостійкості хромомарганцевого чавуну його слід додатково мікролегувати ванадієм у межах 0,5–0,8 %.

Вплив сурми на властивості хромомарганцевого чавуну досліджувався в діапазоні концентрацій від 0 до 1,0 % (за присадкою). Беручи до уваги невисоку температуру плавлення сурми, її вводили в ківш у процесі заповнення його рідким металом. Невеликі присадки сурми (0,15 %) у хромомарганцевий чавун сприяють підвищенню твердості та зносостійкості сплаву. Це пояснюється тим, що сурма впливає не тільки на евтектичне перетворення, але й на кристалізацію аустеніту. Вона зсуває евтектичну точку в бік меншого вмісту вуглецю і цим збільшує кількість евтектики і подрібнює її. Подальші підвищення присадки сурми різко зменшують зносостійкість сплаву. Це пояснюється тим, що в таких кількостях сурма сприяє

утворенню не дрібнодисперсної евтектики, а суцільного поля структурно-вільного цементиту, який має послаблений зв'язок із матрицею сплаву та легко викришується при дії на поверхню зразка абразиву. Отже, для підвищення зносостійкості хромомарганцевого чавуну його необхідно додатково мікролегувати перед заливанням у форми сурмою в кількості 0,10–0,15 % (за присадкою).

Вплив бору на експлуатаційні характеристики хромомарганцевого чавуну вивчався в діапазоні концентрацій від 0 до 0,1 % (за присадкою). Встановлено, що додаткова обробка чавуну бором істотно підвищує зносостійкість і твердість металу. Бор здійснює сильний вплив на процеси кристалізації чавуну як поверхнево-активний елемент, змінює стан меж зерен, подрібнює їх і додатково розкиснює метал, що позитивно впливає на його експлуатаційні властивості. Він також зменшує розміри евтектичних колоній та усуває транскристалізацію в білих чавунах [2]. Мікролегування чавуну бором покращує його технологічні та експлуатаційні властивості, чим знижує вміст у ньому хрому, марганцю, нікелю та інших елементів. Однак за результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що до обробки чавуну бором треба підходити досить обережно, оскільки вже при вмісті бору 0,03 % чавун має крихкий злам при кімнатній температурі, а його зносостійкість практично залишається без змін.

## Висновки

1. Для виготовлення зносостійких виливків із білих чавунів необхідно чітко знати співвідношення основних хімічних елементів — хрому і марганцю.

2. Найвищих експлуатаційних характеристик хромомарганцевих чавунів можна досягти при вмісті в них хрому в межах 18–22 %, а марганцю — 3,5–4,5 %.

3. Для підвищення зносостійкості сплаву 290X19Г4 його необхідно додатково мікролегувати титаном у межах 0,1–0,5 %, ванадієм — 0,5–0,8 % або сурмою — 0,10–0,15 % (за присадкою).

4. Досліджені чавуни мають високі експлуатаційні характеристики і задовільні ливарні властивості та можуть бути використані для виготовлення зносостійких виливків різної маси, геометрії і розмірів.

5. Рекомендовані безнікелеві зносостійкі чавуни для виготовлення литих деталей агрега-

тив системи гідрозоловидалення теплових електростанцій, які мають такий масовий хімічний склад, %: хром — 18,0–20,0; марганець — 3,8–4,5; кремній — 0,6–0,8; титан — 0,1–0,5; ванадій — 0,5–0,8; сурма — 0,10–0,15 (за присадкою); бор — 0,005–0,020 (за присадкою); фосфор та сірка — не більше 0,05 кожного елемента.

6. Попередні промислові випробування запропонованих чавунів у ливарному цеху

СО “Електрремонт” ВАТ “Донбасенерго” показали перспективність їх використання для виготовлення литих деталей багерних насосів та інших пристроїв систем гідрозоловидалення теплових електростанцій.

Подальшим напрямком роботи буде розширення галузі застосування хромомарганцевих білих чавунів внаслідок вдосконалення режимів термічної обробки щодо покращання експлуатаційних властивостей.

Г.Е. Федоров, М.М. Ямшинский, Е.А. Платонов,  
А.Е. Кузьменко, К.С. Радченко

#### ПОВЫШЕНИЕ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОГО БЕЛОГО ЧУГУНА

Исследовано влияние хрома, марганца и никеля на твердость и износостойкость белых чугунов, предназначенных для изготовления литых деталей багерных насосов систем гидрозолоудаления тепловых электростанций. Отработана технология микролегирования титаном, ванадием, сурьмой и модифицирования бором хромомарганцевого чугуна с целью улучшения его специальных свойств.

G.Ye. Fedorov, M.M. Yamshinskiy, Ye.O. Platonov,  
A.Yu. Kuzmenko, K.S. Radchenko

#### THE INCREASE OF HYDROABRASIVE WEAR RESISTANT OF THE HIGH-ALLOYED WHITE CAST-IRON

In this paper, we study the influence of chrome, manganese and nickel on hardness and wearproof of white cast-irons, assigned for making the poured detail parts of dredging pumps of the systems of ash hydro-disposal thermal electric power station. We optimize the microalloying technology using titanium, vanadium, antimony and modification of chrome-manganese cast-iron by boron to improve its special properties.

1. *Гарбер М.Е.* Отливки из белых износостойких чугунов. — М.: Машиностроение, 1982. — 112 с.
2. *Войнов Б.А.* Износостойкие сплавы и покрытия. — М.: Машиностроение, 1980. — 120 с.
3. *Чугун.* Справ. изд. / Под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. — М.: Металлургия, 1991. — 576 с.
4. *Супрун В.К.* Абразивный износ грунтовых насосов и борьба с ним. — М.: Машиностроение, 1982. — 320 с.
5. *Львов П.Н.* Износостойкость деталей строительных и дорожных машин. — М.: Машгиз, 1982. — 242 с.
6. *Крагельский И.В., Бессонов Л.Ф.* Повышение износостойкости и срока службы машин. — М.: Машгиз, 1983. — 238 с.
7. *Погодаев Л.И.* Относительная износостойкость металлов при гидроабразивном изнашивании // ЛИВТ. — 1989. — Вып.121. — С. 96–101.
8. *Магорников А.В., Фомичев И.А., Магорников В.В.* Влияние химического состава на абразивную износостойкость марганцевых чугунов // Литейное производство. — 1985. — № 3. — С. 16–17.
9. *Кривошеев А.Е., Калинина Л.Г.* Влияние легирующих элементов на структуру белых чугунов // Там же. — 1987. — № 7. — С. 19–20.

Рекомендована Радою  
інженерно-фізичного факультету  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
13 листопада 2008 року